

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков

УДК 661.862'041:621.793-404.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Петрина А.А.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц А.А	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук И.В.	к.т.н, доцент		28.02.22

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С	-		28.02.22

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	к.т.н, доцент		

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
Ревва И.Б.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8А	Петрина А.А.

Тема работы:

Разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные литературного анализа по вопросу «Разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков». Объект исследований – составы металлизационных паст, подходящих для металлизации нитрида алюминия Предмет исследования – вольфрамсодержащие металлизационные пасты
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обоснование выбора исходного сырья 2. Разработка состава получаемого материала 3. Определение свойств материала 4. Заключение по работе
Перечень графического материала	Презентация в MS PowerPoint: - Характеристика исходного сырья; - Результаты экспериментов; - Выводы по работе.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор. 2. Методы исследования. 3. Экспериментальная часть.	Дитц Александр Андреевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц А.А.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Петрина А.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
4Г8А		Петрина Анастасия Александровна	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	НОЦ Кижнера Н.М.
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология».

Тема ВКР:

Разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение	<p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Объект исследования: Металлизационная паста для нитрида алюминия на основе вольфрама</p> <p>Область применения: электроника и электротехника</p> <p>Рабочая зона: лаборатория</p> <p>Размеры помещения: 30 м²</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: (3), весы, камерная печь, шаровая мельница.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: помол, термообработка.</p>
-----------------	--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>ГОСТ 12.2.033 – 78. Рабочее место при выполнении работ стоя.</p> <p>ГОСТ 22269 – 76. Общие требования к размещению органов управления.</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 – Опасные и вредные производственные факторы.</p> <p>ГОСТ Р 12.0.001-2013 – Система стандартов безопасности труда.</p> <p>ПНД Ф 12.13.1–03 Методические рекомендации.</p> <p>Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p> <p>ГОСТ 22269–76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>Вредные производственные факторы: отклонения от оптимальных микроклиматических параметров рабочей зоны; недостаточная освещенность рабочей зоны; загрязнение воздушной среды в зоне дыхания.</p> <p>Опасные производственные факторы: вероятность получить ожоги при работе с печью, попадание пыли или других воздушных компонентов на слизистую.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: защитная маска, перчатки, защитные очки.</p>

<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: шум на предприятии.</p> <p>Воздействие на литосферу: производственный мусор, твердые отходы.</p> <p>Воздействие на гидросферу: сточные воды, жидкие отходы</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы выхлопных газов, излишнего тепла, выбросы мелкодисперсных частиц (пыль).</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: наводнения, ураганы, лесные пожары, возгорания в лаборатории.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар в лаборатории или цеху.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Петрина Анастасия Александровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8А	Петрина Анастасия Александровна

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	НОЦ Кижнера
Уровень образования	Среднее общее образование	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	ральный финансовый показатель. ральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Петрина Анастасия Александровна		28.02.22

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.03.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире

ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта

ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера
 Уровень образования бакалавр
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц А.А.	к.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	к.т.н, доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 116 с., 25 рис., 40 табл., 80 источников.

Ключевые слова: нитрид алюминия, коэффициент термического расширения, металлизация, адгезия.

Объектом исследования являются составы металлизационных паст, подходящих для металлизации нитрида алюминия

Цель работы – разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков

В процессе исследования проводились: приготовление составов металлизационных паст на основе тугоплавких порошков с добавлением органического связующего, определение характеристик порошка вольфрама, приготовление опытных образцов нитрида алюминия с нанесенной металлизационной пастой, а также определение свойств металлизационной пасты.

В результате исследования: были сделаны выводы на основе полученных данных по адгезии к нитриду алюминия получившихся металлизационных паст и их проводимость.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: энергетика/машиностроение.

Экономическая эффективность/значимость работы: в результате проведения анализа экономической эффективности выявлено, что данное исследование по сравнению с аналогами более ресурсоэффективно.

ПЕРЕЧЕНЬ СТАНДАРТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

4. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

7. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

КТР – коэффициент термического расширения;

РЭМ – растровый электронный микроскоп;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

СНиП – строительные нормы и правила.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	16
1 Современные представления о физико-химических и технологических процессах получения металлизированной керамики из нитрида алюминия	17
1.1 Керамика на основе AlN	17
1.1.1 Теплофизические свойства керамики AlN	28
1.1.2 Химическая стойкость	31
1.2 Металлизация керамики	32
1.2.1 Существующие способы металлизации	33
1.2.2 Требования к составляющим металлизации	33
1.3 Составы паст и режимы для металлизации керамики	35
1.4 Процессы, протекающие при вжигании металлизации	38
2 Методы исследования и материалы	40
2.1 Методы исследования	40
2.1.1 Рентгенофазовый анализ	40
2.1.2 Растровая электронная микроскопия (РЭМ)	41
2.1.3 Гидростатическое взвешивание	41
2.1.4 Проводимость	42
2.1.5 Адгезия	42
3 Экспериментальная часть	44
3.1 Материалы	44
3.1.1 Керамика на основе AlN	44
3.1.2 Металлический порошок	44
3.1.3 Изготовление образцов	45
3.1.4 Помол металлических порошков	47
3.1.5 Спекание металлических дисков	49
3.1.6 Исследование свойств спеченных	51
3.2 Приготовление паст	57
3.2.1 Приготовление органической связки	59
3.2.2 Смешение металлической и органической части с ALN	60
3.2.3 Определение свойств пасты	60
3.2.4 Вжигание металлизационной пасты	62
3.2.5 Исследование свойств металлизационного слоя	64

4	Социальная ответственность	71
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
4.2	Производственная безопасность	73
4.3	Экологическая безопасность	78
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	80
4.5	Выводы по разделу	82
5	Финансовый менеджмент	83
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	83
5.1.1	Анализ конкурентных технических решений	83
5.1.2	SWOT-анализ	86
5.2	Планирование научно-исследовательских работ	90
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	90
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	91
5.3	Бюджет научно-технического исследования	95
5.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	96
5.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	97
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	98
5.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	100
5.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	101
5.3.6	Накладные расходы	101
5.3.7	Бюджетная стоимость НИР	102
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	103
5.4.1	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	103
5.4.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	105
5.5	Выводы по разделу	107
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	109

ВВЕДЕНИЕ

Высокотеплопроводная керамика из нитрида алюминия является недорогим, надежным и качественным материалом для производства источников питания и электронных плат для военной техники. Производят керамику только из высокочистых и качественных материалов. Строгое соблюдение технологии производства гарантирует качество изделий.

Керамика из AlN обладает данными свойствами [1]:

- высокая теплопроводность;
- низкий КЛТР;
- высокая изолирующая способность;
- высокая механическая прочность;
- отличная термостойкость;
- нетоксичность.

Ценный комплекс свойств керамики из AlN обусловил ее широкое применение в современной технике.

Разработка новых диэлектрических материалов является одной из важных проблем, определяющих прогресс электронной и ряда других областей современной техники. Широко используемые в электронных приборах и радиосхемах в настоящее время диэлектрики из алюмооксидных материалов, не отвечают современным требованиям по теплопроводности другим свойствам. Оксид бериллия обладает высокой теплопроводностью, но является токсичным и дефицитным материалом. В связи с этим в последние годы широкое применение в технике находят именно те материалы, в основе которых находится нитрид алюминия, данные материалы имеют высокую теплопроводность, низкий КЛТР, ценные диэлектрические свойства, отличную термостойкость и др. достоинства. Преимуществом нитрида алюминия перед окисью бериллия является его нетоксичность.

1 Современные представления о физико-химических и технологических процессах получения металлизированной керамики из нитрида алюминия

1.1 Керамика на основе AlN

Нитрид алюминия (алюмонитрид) — это химическое соединение алюминия с азотом.

Материалы и изделия в основе которых находится нитрид алюминия, применяются главным образом в электронике и электротехнике [1].

На основе всего этого можно сделать вывод что нитрид алюминия является одним из перспективных материалов.

Алюмонитрид относится к сфере керамики, которая может найти применение в разных приборах электронной техники, в качестве теплоотводов в мощных осветительных устройствах, подложек для электронагревательных элементов и электроизоляторов.

Требуется увеличение количества паст для алюмонитрида, что приводит к возникновению проблемы их создания и необходимости исследования их свойств.

Разные сферы применения нитрида алюминия, такие как: электронная, электрохимическая, машиностроительная, атомные отрасли промышленности. Данное разнообразие связано с тем, что нитрид алюминия обладает взаимосвязью физико-химических явлений.

Однако существуют и факторы, которые не позволяют ему проявлять себя в широком спектре, это низкая эффективность нынешних промышленных способов получения нитрида алюминия, которые не обеспечивают чистоту конечного продукта, так же они не дают возможность варьировать крупность частиц получаемых порошков. Методики, которые могли позволить получать высокодисперсные порошки, являются

высокозатратными. В связи с этим, исследования, направленные на модернизацию и усовершенствование технологий получения дисперсного алюминитрида актуальны.

В таблице 1 описаны основные способы получения нитрида алюминия.

Таблица 1 – Способы получения нитрида алюминия [2,3,6,7]

Способы получения	Температура, °С	Исходные реагенты	Доп. требования	Форма и крупность частиц	Чистота AlN, %
Восстановление Al ₂ O ₃ в контакте с N ₂ или азотсодержащим веществом	1400–1900	Al ₂ O ₃ ; C/CH ₄ /C ₃ H ₈ ; N ₂ /NH ₃	Необходимость удаления углерода	Сферические, нитевидные частицы; от 50 нм до 10 мкм	98,0–99,1 O ₂ : 0,97–1,61; C: 0,05–0,18
Взаимодействие Al в жидкой, или в газовой фазе в виде паров, с газообразными N ₂ или азотсодержащими соединениями	1400–1550	Al(ж), (г); N ₂ /NH ₃	Магнитный импульс; лазерное излучение	Сферические 0,5–10 мкм, игольчатые: l=2–15 мкм, h=0,4–1 мкм	99,3; O ₂ : 0,5–1,2
Взаимодействие в газовой фазе легколетучих неорганических соединений Al с N ₂ или азотсодержащими газами	700–1250	Al, AlCl ₃ , AlF ₃ , AlI ₃ , Al ₂ Se ₃ ; NH ₃ /N ₂	Повышенное давление; условия работы с исходными реагентами	Сферические, нитевидные, игольчатые частицы 0,05–1 мкм	До 99,9
Взаимодействие неорганических соединений Al с азотсодержащими органическими соединениями	800–1500	AlCl ₃ ; H ₂ ; NCH ₂ ; CH ₂ ; NH ₂	Измельчение, выпаривание растворов, сушка, вакуум	Сферические частицы, 0,06–1 мкм	99,1–99,2 C: 0,8–0,9

Продолжение таблицы 1

Взаимодействие органических соединений, содержащих Al, с азотсодержащими органическими соединениями или N ₂	1100–2000	Al (OH) (C _n + 2H ₂ nO ₄) · xH ₂ O, где n = 3, 6, 8 Al (NO ₃) ₃ · 9H ₂ O (99 %); CO (NH ₂) ₂ (99 %); C ₆ H ₁₂ O ₆ · H ₂ O;	Выпаривание растворов, удаление углерода из продуктов взаимодействия	Сферические, игольчатые частицы 0,5–10 мкм	99,0–99,8 O ₂ : 1,0 C: 0,1
Комбинированные методы получения AlN	1000–1700	Al/Al ₂ O ₃ ; HCl/Cl ₂ ; C; N ₂	Одновременное получение AlN по нескольким механизмам	Сферические, нитевидные частицы	99,0- 99,5

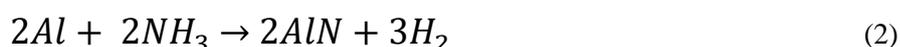
Основными методами получения нитрида алюминия является синтез из простых веществ, восстановление оксида алюминия при одновременном азотировании и метод газофазного осаждения.

Метод, которым чаще всего получают нитрид алюминия это синтез из элементов, суть которого состоит во взаимодействии алюминия с азотом и аммиаком. Данный метод осуществляется следующими способами: азотирование алюминия в печах сопротивления, в дуговом разряде, в низкотемпературной плазме ВЧ разряда и самораспространяющимся высокотемпературным синтезом.

Так же частым методом получения нитрида алюминия является реакция взаимодействия металлического алюминия с азотом по реакции [8]:



Скорость реакции в значительной степени зависит от дисперсности алюминия. Она возрастает с уменьшением его частиц. Образующаяся на поверхности алюминия пленка Al₂O₃ затрудняет прохождение реакции и замедляет процесс. Применение аммиака для азотирования более благоприятно, так как при диссоциации атомы азота имеют более высокую реакционную способность, а водород восстанавливает примеси оксидов до металлов. Реакция описывается уравнением [8]:



Исследование процесса азотирования алюминия различной чистоты и дисперсности показало, что примеси интенсифицируют процесс. Уменьшение спекания и увеличение выхода нитрида можно достигнуть при разбавлении исходной шихты порошкообразным AlN.

Однако недостатком данного метода является загрязнение конечного продукта оксидом алюминия, так как исходный мелкодисперсный алюминий обладает большой удельной поверхностью к окислению. Кроме того, при азотировании порошкообразного алюминия обычно наблюдается частичное или полное спекание реакционной массы вследствие экзотермичности реакции. Последующие операции измельчения и просева по фракциям загрязняют полученный продукт.

Содержание AlN в конечном продукте составляет от 95 до 96 %.

Другим способом получения нитрида алюминия из элементов является процесс получения в электрической дуге. Алюминий непрерывно подается в зону нагрева печи в распыленном состоянии. Это позволяет в 50 раз повысить производительность печей. Около 20 % материала осаждается в виде порошка и около 80 % в виде плотного спека. Полученный продукт содержит до 95 % AlN. Метод синтеза нитрида алюминия в электрической имеет ряд существенных недостатков, основные из которых заключаются в следующем [9]:

- 1) Основная масса нитрида получается все же в виде спека;
- 2) Нитрид алюминия, выделяющийся на концах электродов, обладает большим электросопротивлением и сразу гасит дугу.

Недостатки принципиально устранимы, и метод следует считать перспективным для синтеза высокочистого нитрида алюминия.

К способам получения высокочистых порошков AlN относятся методы плазмохимического и само-распространяющегося высокотемпературного синтеза.

Плазмохимический синтез осуществляют использованием плазмотронов различных типов – дугового, высокочастотного и

сверхвысокочастотного.

Синтез AlN в неизотермической плазме низкого давления обладает весомым преимуществом – эффектом очистки. Если исходным материалом служит технический алюминий, содержащий цинк, железо, кремний, свинец, магний, медь, то после синтеза получают практически чистый нитрид алюминия.

Тугоплавкие соединения, синтезированные в низкотемпературной плазме, обладают высокой химической активностью. Порошок имеет высокую удельную поверхность 12–80 м²/г и является однородным по химическому и физическому составу. Основным недостатком данного метода является большое содержание кислорода (до 6 %) и склонность к гидролизу даже на воздухе.

Из всех перечисленных методов в Российском производстве используется высокотемпературный синтез (СВС).

Суть данного метода состоит в последующем: осуществляется прессование смеси порошков в цилиндрический образец. С одной стороны, к нему подводится тепловой импульс путем быстрого нагрева гальванической спирали, в прогретом химической слое возбуждается химическая реакция и формируется волна синтеза, которая распространяется вдоль оси образца со скоростью. Распределение волны сопровождается ярким свечением, в результате за считанные секунды начальная смесь порошков переходит в синтезированное соединение. СВС – это горение в конденсированной среде, с точки зрения, предопределенное реакциями прямого синтеза, поэтому при описании высокотемпературного синтеза часто используется терминология теории горения. Хотя по химической природе СВС за рамки привычных представлений об этом процессе. Процесс получения происходит в две стадии: распространение волны и объемное догорание. Для получения однофазных продуктов нужно обеспечить полноту процесса на стадии догорания. Смягчение режима горения достигается разбавлением исходного порошка металла одноименным нитридом в количестве от 10 до 50 вес %.

Метод СВС обладает важными с технологической точки зрения достоинствами. К ним относится [7,10]:

- высокая скорость процесса, приводящая к большой производительности метода;
- отсутствие электрических затрат на нагрев до высоких температур синтеза (процесс протекает за счет внутренних ресурсов системы);
- простота аппаратного оформления процессов
- отсутствие сложного электротермического оборудования;
- высокое качество продукта.

Следует отметить, что наиболее перспективным методом получения нитрида алюминия является карботермический синтез, но ввиду отсутствия в России крупных производств AlN, данный метод не используется.

В литературе описано несколько методов получения керамики из AlN

- 1) реакционное спекание,
- 2) метод газового осаждения,
- 3) спекание предварительно сформованных заготовок,
- 4) горячее прессование.

Метод реакционного спекания заключается в одновременном азотировании и спекании заготовок. Образцы из металлического алюминия или из смеси AlN и Al формируют под давлением около 8 г/см^2 в среде азота и обжигают в среде азота.

Метод газофазного осаждения позволяет получить высокоплотные изделия из AlN высокой чистоты (содержание AlN 99 % масс.). Однако данный метод технически сложен и малопроизводителен. Стоимость изделий, полученных этим способом весьма высока.

Более производительным является метод спекания предварительно сформованных заготовок, включающий метод шликерного литья и метод прессования порошков с последующим спеканием в засыпке.

Гидростатическое прессование – это метод, с помощью которого

формируются заготовки из AlN, в котором в прессформу помещается порошок AlN. Прессформа может быть резиновой или полиэтиленовой. Сам процесс прессования проходит в герметичных камерах, в которых рабочими жидкостями служат глицерин, масло или вода.

Для получения изделий большой длины: труб, стержней, уголков пластифицированный порошок выдавливают через мундштук с отверстием, определяющим профиль заготовки [12].

Возможно получение высокоплотной керамики горячим прессованием. Горячее прессование нитрида алюминия осуществляли в высокочастотной вакуумной установке с применением графитовых прессформ в среде азота [13].

Керамика из промышленного порошка AlN с относительной плотностью до 95 % может быть изготовлена при температуре прессования 1700 °C и выдержке 15 минут. При дальнейшем нагреве (особенно выше 1850 °C) происходит заметное испарение материала и его плотность падает.

Но при данном способе производства невозможно получить изделия сложных форм. Так же данный метод технически сложен.

Наиболее выгодными и технически простыми методами производства изделий из AlN являются метод спекания предварительно сформованных заготовок прессованием или методом горячего литья.

Большинство отечественных и зарубежных публикаций посвящено разработке технологии изготовления высокотеплопроводных изделий из AlN методом высокотемпературного спекания заготовок.

Основной задачей, решаемой в этих работах, является повышение уровня свойств керамики из AlN (теплопроводности, диэлектрических свойств и др.), что обусловлено использованием изделий из AlN в качестве теплопроводящего материала в современной технике взамен токсичного BeO.

Другой важной задачей, решаемой в последние годы зарубежными и отечественными исследователями, является снижение температуры спекания заготовок из AlN, что позволяет упростить технологический процесс,

уменьшить его энергоемкость и, благодаря этому, уменьшить себестоимость изделий.

Повышать теплопроводность керамики из AlN во многих работах [7-15] рекомендуют с помощью добавок, их количества, выбора условий спекания и термообработки изделий, обеспечивающих удаление вторичных фаз и создание оптимальной микроструктуры. В некоторых публикациях [16-20] используют для увеличения теплопроводности термоочистку керамики из AlN от примесей в специальных газовых средах, в частности, от примеси кислорода в токе азота при высоких температурах по реакции восстановления углеродом.

В работе [7] показано, что теплопроводность керамики из AlN может быть увеличена введением добавок. Они способствуют уплотнению керамики и повышают её теплопроводность.

В работе [11] изучено влияние термообработки на теплопроводность и микроструктуру керамики из AlN, полученной горячим прессованием. Термообработку проводили в различных восстановительных средах. Установлено, что вторичные фазы и температура термообработки сильно влияют на величину коэффициента теплопроводности. Термообработка позволяет получить коэффициент теплопроводности до 200 Вт/(м·К). Это достигается одновременным удалением кислорода из решетки AlN и вторичной фазы.

Многие публикации последних лет [21-28] посвящены проблеме низкотемпературного спекания керамики из AlN, которое позволит уменьшить энергозатраты на изготовление изделий и, следовательно, снизить их стоимость. Однако решение этой задачи осложнено уменьшением теплопроводности керамики из AlN при снижении ее температуры спекания.

В последние годы появились сообщения о работах [29, 30], направленных на создание керамики из AlN, армированной кристаллами из AlN игольчатой и пластинчатой структуры. Основная задача таких исследований – повышение механической прочности и термостойкости

керамики из AlN.

Показано, что керамика с игольчатой и пластинчатой структурой обладает пластичностью при изгибе. Авторами исследован механизм роста микроволокон и образования сложной структуры при спекании.

Публикации [37, 38] посвящены проблеме повышения влагостойкости порошка AlN, который гидролизуется при хранении помоле и других технологических операциях с образованием гидроксида алюминия и его разложением до оксида алюминия при нагревании. Примесь оксида алюминия резко снижает теплопроводность материала и ухудшает его диэлектрические свойства.

В работах [18, 39, 40] рассмотрены методы формования теплопроводной керамики из AlN: ленточное литье, инъекционное формование, изостатическое прессование и термокомпрессионное. Так, в статье [39] изучено влияние состава и вязкости шликера на плотность, гомогенность и гладкость поверхности образцов, полученных ленточным литьем. Исследовано влияние условий спекания на плотность, микроструктуру и состав зернограничной фазы. Исследование проводили на трех промышленных порошках AlN. Установлено, что теплопроводность спеченной керамики зависит от свойств порошка AlN и микроструктуры материала.

В литературе есть также сведения о получении высокоплотной теплопроводной керамики другим методом - горячим прессованием [41-44]. Однако этот метод более энергоемкий и непригоден для получения изделий сложной формы, а также высокой чистоты, что обуславливает повышение диэлектрических потерь у горячепрессованных материалов при СВ-частотах.

В работе [42] получали керамику из AlN горячим прессованием в графитовых пресс-формах при температуре 1900 °С и давлении 45 МПа. В зависимости от времени выдержки были получены плотные образцы с пористостью до 0,5 %. С них механически снимали поверхностный слой во избежание попадания в нитрид алюминия углерода из пресс-формы.

Исследованы электрохимические свойства полученного материала.

Авторы [43, 44] приводят основные технологические параметры для получения горячим прессованием плотной керамики из AlN. На рисунке 1.1 дан температурный режим горячего прессования порошка AlN и режим приложения давления. На рисунке 1.2 представлена зависимость плотности горячепрессованной керамики из AlN от температуры при давлении от 200 до 300 бар. Высокая плотность материала достигается при температуре выше 1840 °C [44]. На рисунке 1 проиллюстрирован режим изменения температуры и давления при горячем прессовании.

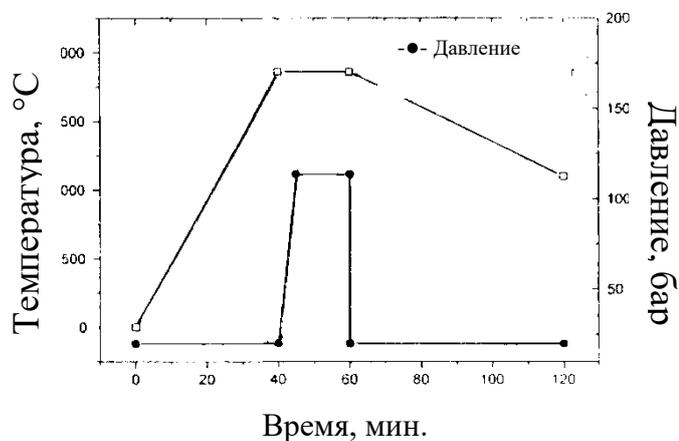


Рисунок 1 – Режим изменения температуры и давления при горячем прессовании [45]

На рисунке 2 показана зависимость плотности горячепрессованного AlN от температуры спекания при давлениях 200 и 300 бар.



Рисунок 2 – Плотность горячепрессованного AlN при давлениях 200 и 300 бар [45]

Керамические подложки из алюминитрида в форме прямоугольных пластин применяются в элементах радиотехнике, электронике, микроэлектронике, энергетике, в космическом приборостроении. Применяется в качестве теплопоглотителя в высокомошной электронике.

Изделия из AlN могут использоваться в приборостроении в качестве [7]:

- поглотителей мощности;
- подложек термоэлектрических преобразователей;
- коммутационных плат;
- изолирующих прокладок;
- теплопроводов;
- теплопроводящих изоляторов;
- в производстве радиоэлектронных компонентов.

Из нитрида алюминия изготавливают:

- держатели кристаллов полупроводниковых приборов (транзисторов, диодов и др.);
- мультиплицированные платы;
- носители схем датчиков отравляющих веществ.;
- пластины для ионизаторов и озонаторов;
- экраны для радиочастотных генераторов плазмы [8].

Порошки AlN, являющиеся нанодисперсными, используются так же и для модифицирования свойств полимерных теплопроводных материалов, таких как клеев и заливочных компаундов.

Своё широкое использование нитрид алюминия получил и в медицинской отрасли в качестве покрытия на традиционных металлических имплантационных материалах – нержавеющей стали, титановых сплавах, кобальтохромовых сплавах и т. д. [10].

1.1.1 Теплофизические свойства керамики AlN

В отечественной и зарубежной литературе имеется большое количество публикаций, посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию свойств керамики из нитрида алюминия [7, 44–53, 55, 58, 60]. Низкая величина КЛТР и характер температурной зависимости, сопоставимые с таковыми для кремния, обуславливают важное преимущество нитрида алюминия для использования в электронной технике. В таблице 3 приведена зависимость термического линейного расширения керамики из нитрида алюминия от температуры в интервале температур 20–600 К.

Таблица 3 – Значения термического линейного расширения AlN (температура, К; линейное расширение $\frac{\Delta L}{L_0}$, %; $\alpha, 310^{-6}, \text{K}^{-1}$) [27]

T	$\frac{\Delta L}{L_0}$	α
293	0,000	2,5
300	0,001	2,6
400	0,038	3,8
500	0,080	4,4
600	0,126	4,8

Как было сказано выше, нитрид алюминия – перспективный материал, изделия из которого обладают высокой теплопроводностью. Впервые синтез нитрида алюминия произошел в 1877 году, однако лишь в середине 1980 потенциал данного вещества был осознан для его практического применения в микроэлектронике. Он был создан из-за его относительно высокой, для керамики, теплопроводности (70–210 Вт·м⁻¹·К⁻¹). Материал представляет интерес, как нетоксичная альтернатива оксиду бериллия.

Некоторые термодинамические характеристики нитрида алюминия приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Термодинамические характеристики нитрида алюминия [30]

Характеристика	Единица измерения	Значение
Теплота образования	Дж\моль	319,2
Энтропия	°С\моль	20,1
Энергия диссоциации	Дж\моль	343
Энтальпия при 25 °С	Дж\моль	315
Температура разложения	°С	2200–2700

Нитрид алюминия - тугоплавкое соединение. Данные по температуре его плавления весьма разноречивы (от 2200 до 2500 °С), что объясняется отличиями в чистоте применяемого материала.

Свойства керамики из нитрида алюминия приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Свойства керамики из AlN [43]

Наименование свойства	Значение при температуре 300 К
Плотность г/см ³	3,26
Удельная теплоемкость, при 300 К, Дж/(г·К)	0,8
Ширина запрещенной зоны, эВ	5,7 – 6,0
Коэффициент линейного термического расширения, $\alpha \times 10^{-6}$, °С ⁻¹ при 25–400 °С	4,7
Коэффициент теплопроводности Вт/(м·К)	180 - 260
Удельное электросопротивление Ом·см, при 25 °С	1×10^{14}

Продолжение таблицы 5

Тангенс угла диэлектрических потерь при 20 °С, $\nu = 10^6$ Гц	1×10^{-4}
Диэлектрическая проницаемость при 20 °С $\nu = 10^6$ Гц	8,9
Модуль Юнга, ГПа	308
Предел прочности при сжатии, МПа	1000–1200
Предел прочности при изгибе, МПа	300
Температура начала окисления на воздухе, °С	600

Главной причиной низкой теплопроводности спечённого нитрида алюминия является наличие в нем примесей инородных фаз в межзеренном пространстве, в частности растворенного в решётке кислорода, что приводит к рассеиванию фононов. В процессе спекания кислород дополнительно внедряется в решетку AlN, создавая вакансии алюминия, на которых и происходит рассеивание фононов, что и приводит к снижению теплопроводности. Для получения теплопроводности 150 Вт/мК содержание O₂ не должно превышать 0,5 %.

Высокая теплопроводность AlN объясняется простотой кристаллической решетки, прочной связью, малой разницей атомной массы составляющих элементов. Теоретические расчеты показывают, что теплопроводность AlN при комнатной температуре должна быть равна 320 Вт/(м·К), что сравнимо с теплопроводностью меди. Более низкие значения теплопроводности известных материалов обусловлены наличием в них примесей, микро- и макродефектов.

В таблице 6 сравниваются типичные свойства четырёх керамических материалов, которые в настоящее время используются в электронных приборах в качестве подложки. Совокупность уникальных свойств, а именно высокая теплопроводность, электрического сопротивления, КТР, который находится вблизи к КТР кремния, поэтому

нитрид алюминия становится ключевым материалом, который используется в качестве подложки для электронных приборов с высокой мощностью [3].

Таблица 6 – Свойства керамических материалов [54]

Физические свойства	Al ₂ O ₃	SiC	AlN	BeO
Теплопроводность при 25 °С, Вт/мК	20...30	150	160...240	220...240
Прочность на изгиб, МПа	300...350	320...350	250...300	170...230
Электрическая прочность при 25 °С, кВ/мм	14...18	0,07	5...10	10
Удельное электросопротивление при 25 °С, Ом·см	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴
Диэлектрическая постоянная при 25 °С на частоте 1 МГц	8,5...10	40...42	8,8...8,9	6,5...6,7
Тангенс угла диэлектрических потерь ($\cdot 10^{-4}$) на частоте 1 МГц	2...3	500	1...5	1...5
Коэффициент температурного линейного расширения (10 ⁻⁶ °С) в диапазоне температур 25–400 °С	6,7...7,3	3,7	4,3...4,6	7,5...8,0
Плотность, г/см ³	3,97	3,21	3,26	3,01
Модуль Юнга, ГПа	378	460	343	378

1.1.2 Химическая стойкость

Реакционная способность AlN в значительной степени зависит от чистоты, структуры, дисперсности материала, а также от температуры синтеза.

Ряд таких кислот как, серная, соляная и азотная на холоде слабо действуют на порошкообразный нитрид алюминия. Существует зависимость, в которой с повышением температуры скорость взаимодействия возрастает и линейно зависит от 1/T. В концентрированных кислотах стойкость алюмонитрида выше.

Разложение AlN может полностью происходить в концентрированной фосфорной кислоте и смесях хлорной/серной и фосфорной кислотой.

Разбавленные и концентрированные растворы карбонатов и щелочей разлагаются с выделением аммиака. На AlN не действует расплавленный алюминий (до 2000 °С), галлий (до 1300 °С), медь (до 1200 °С), борный ангидрид (до 1400 °С). Устойчив алюмонитрид и в контакте с графитом до высоких температур, с молибденом и вольфрамом до 1800 °С.

1.2 Металлизация керамики

На керамику наносится покрытия из металла для того, чтобы создать токопроводящий слой на конкретной части данной детали, к ней и присоединяют полупроводниковый кристалл и выводы, которые в свою очередь соединяют изделие с корпусом прибора. Для металлизации керамики используют благородные металлы — Ag, Pt, Au, Pd и их сплавы; тугоплавкие — Mo, Ta, Cr, W, Ni.

Сущность метода металлизации состоит в нанесении на поверхность керамики слоя металлического порошка с последующем вжигании нанесённого слоя в восстановительной среде. Основными компонентами в составе металлизационного покрытия являются тугоплавкие. Они используются в мелкодисперсном состоянии, в виде порошков.

Назначение добавок в процессе вжигания металлизационного покрытия — это достижение прочного соединения основного компонента покрытия с керамикой, для получения вакуумно-плотных изделий.

1.2.1 Существующие способы металлизации

В данный момент существует несколько способов для того, чтобы процесс металлизации был возможен [43]:

1) паста, состоящая из мелкой фракции металла, наносится на поверхность керамического изделия, паста смешана с органической связкой, с дальнейшим её удалением;

2) нанесение на поверхность керамики соли металла;

3) в смеси с восстановителем и дальнейшим вжиганием;

4) плазменное напыление металла на поверхность изделия;

5) диффузионная сварка керамики и металла при температурах 1100 - 1300 °С и давлении 20–30 МПа.

Толщина металлизации 30–50 мкм в зависимости от назначения покрытия и технологии нанесения.

1.2.2 Требования к составляющим металлизации

Металлизация должна обеспечивать вакуумную плотность соединения металл-керамика, а также возможность пайки изделий высокотемпературными припоями как в вакууме, так и в среде водорода, большую адгезию металла к керамике.

Главной характеристикой покрытия является прочность сцепления покрытия с керамикой.

Общим правилом получения высокой адгезии (сцепления покрытия с основным материалом), являются условия – физического контакта (ФК) между покрытием и керамикой и химического взаимодействия (ХВ) на границе двух контактирующих фаз.

Характеристики состояния поверхности. Значение адгезии, а значит и работоспособность компонентов с покрытиями, во внушительной степени зависит от состояния их поверхностного слоя перед нанесением покрытия,

отчего следует учитывать воздействие ключевых параметров поверхностного слоя деталей на качество наносимых покрытий и технологию подготовки поверхности под покрытие.

Химическая чистота поверхности детали. Данная характеристика является одним из основных условий высокого качества наносимого покрытия. Загрязненность поверхности затрудняет взаимодействие покрытия с материалом подложки, способствует возникновению несплошностей в покрытии и областей с высокими локальными напряжениями. Все это снижает прочность сцепления покрытия с подложкой и, как следствие, приводит к отслаиванию и растрескиванию покрытия, как в процессе его нанесения, так и при его эксплуатации.

Топография поверхности детали. Наличие на поверхности заготовки перед напылением грубых дефектов: раковин, царапин, трещин играет отрицательную роль. В то же время повышение шероховатости химически чистой поверхности детали во многих случаях (при напылении покрытия газотермическим методом, погружение в расплав, эмалирование и др.) способствует лучшему сцеплению покрытия с подложкой. Это объясняется увеличением площади фактической поверхности детали, появлению эффекта заклинивания образующегося покрытия.

Остаточные напряжения в поверхностном слое, связанные с предшествующей обработкой заготовки, способствуют усилению взаимодействия между материалами покрытия и подложки. Это обусловлено активацией поверхности, облегчающей образование зародышей покрытия, и повышением диффузионной подвижности элементов в сплавах при наличии в них дефектов решетки.

Металлизация алюмонитридной керамики пастами на основе тугоплавких металлов потребовала создания комплекса неразрывно связанных технологических процессов, а именно [18]:

1. разработки режимов формирования на поверхности керамики оптимального алюмооксидного слоя, способного вступать в химическое взаимодействие с компонентами пасты при вжигании;
2. создания окисленного слоя, который должен быть достаточным по толщине для образования переходных слоёв металлизация-керамика, и в то же время часть его должна оставаться в виде исходного оксида алюминия, обеспечивающего достаточную адгезию покрытия к керамике;
3. разработки состава металлизационной пасты, обеспечивающего высокую адгезию металлизации к подложке;
4. определения оптимального режима высокотемпературного вжигания пасты, при котором отсутствует коррозия алюмонитридной керамики в процессе вжигания металлизационной пасты и обеспечивается вакуумная плотность покрытия и достаточная его адгезия к алюмонитридной керамике.

Металлизированные необожжённые детали проходят визуальный этап контроля и проверяется толщина металлизированного слоя с помощью игольчатого толщиномера.

1.3 Составы паст и режимы для металлизации керамики

Разработка оптимального состава металлизационной пасты представляет трудную техническую задачу. Это объясняется тем, что для сцепления разнородных материалов необходимо взаимодействие активных компонентов.

Сложность подбора металлизационных паст состоит еще и в том, что при вжигании металлизации происходят взаимоисключающие процессы: с одной стороны – спекание металлических зерен между собой, а с другой – окисление активных компонентов металлизационной пасты и взаимодействие вновь образовавшихся оксидов с оксидами керамики с

появлением переходного слоя. Поэтому в металлизационную пасту вводят чистые металлы, а также активные вещества (активизирующие добавки), взаимодействующие с компонентами керамики и не нарушающие процесс спекания металлических зерен друг с другом.

Основой большинства составов металлизационных паст являются тугоплавкие металлы: молибден и вольфрам. Пасты на основе вольфрама служат металлизационным покрытием с более плотной структурой, но так как вольфрам относится к дефицитным материалам, его применение должно быть технически обосновано.

Активизирующими добавками являются керамические порошки, стекла, глазури, металлы, оксиды, карбиды и нитриды, силициды, бориды, гидриды и другие соединения [1]. Основное назначение вводимых добавок состоит в обеспечении прочного соединения основного компонента металлизационного покрытия с керамикой [2].

В настоящее время опробовано и изучено не менее сотни составов металлизационной покрытий. Наиболее употребительные составы, применяемые для металлизации керамических материалов, приведены в таблице 7 [2].

Таблица 7 – Составы, применяющиеся для металлизации керамических материалов [34]

Керамический материал	Компоненты пасты	Состав, % по массе
Стеатитовая керамика	Mo; Fe	98; 2
Форстеритовая керамика, ФС-5Л, АФ-555	Mo; Mn; Mn; TiH ₂ ; Al ₂ O ₃	96; 4; 64-74; 0.8-6.1; остальное Al ₂ O ₃
Алюмооксидная керамика	WC; Ti; Fe	60; 10; 30;

Продолжение таблицы 7

Алюмооксидная керамика	22Х,22Хс	Mo Mo Mn Mo Mn Si Mo Mn TiH ₂	100; 80; 20; 80; 20; 80; 10; 10;
	М-7	Mo Mn MoB Mo Mn MoSi ₂ Mo Mn (MoB-Si) Mo Mn (W-Si) Mo Mn стекло Mo Mn (Fe-Si) W Mo Mn TiH ₂	62,5; 20; 17,5; 77; 20; 3; 75; 20; 5; 80; 15; 5; 75; 20; 5; 85; 15 80; 14; 6; 100; 80; 10; 10;
	ВГ-4	Mo Mn Si	75–78; 20; 5–3;
	ГБ-7	Mo высоковольтный электротехнический фарфор	75–85; 15–25;
	А-995	Mo Mn Mo ₂ B ₃	74; 15; 5; 6; 70; 30;
	Сапфирит ГМ Поликор	Mo Mn V ₂ O ₅ Mo Mn Si W Y ₂ O ₃	75; 20; 5 80; 20; 5; (сверх 100 %) 95; 5
Монокристаллы	Сапфир	Mo Mn Mo ₂ B ₆	74; 15; 5; 6;
	Рубин	Mo СТ-1	70; 30
Бериллиевая керамика		Mo Mn Si	80; 20; 5 (сверх 100 %)
Брокери т-9		Mo Mn Si MgO	90; 10; 2; 3; (сверх 100 %)

В таблице 8 приведены составы и режимы, применяющиеся для металлизации алюмонитридной керамики.

Таблица 8 – Составы и режимы, применяющиеся для металлизации алюмонитридной керамики [23]

Керамический материал	Компоненты пасты	Состав, % по массовой доле	Режимы вжигания металлизации	
			Температура, °С	Среда
Алюмонитридная керамика	Mo; SiO ₂ ; MgO; Mn	80; 20; 5; 5	1340	Водород
	Mo; SiO ₂ ; MgO; Mn	78; 15; 5; 5	1350	
	Mo; SiO ₂ ; MgO; Mn	80; 10; 5; 5	1360	
	Mo; Mn; Тальк	78; 5; 17	1340	
	Mo; Mn; Тальк	79; 5; 16	1350	
	Mo; Mn; Тальк	80; 5; 10	1360	

Зачастую применяется технологическая схема металлизации керамики, которая включает данные основные операций:

- 1) размол металлических порошков и вводимых добавок;
- 2) приготовление металлизационной пасты;
- 3) нанесение металлизационной пасты на керамику;
- 4) вжигание металлизационного покрытия;
- 5) нанесение второго слоя металла на металлизационной покрытие;
- 6) очистка металлизированных деталей.

На данный момент в электротехнике большее применение находит высокотеплопроводная керамика. И особенно внимание уделяется вопросу, связанному с металлизацией.

1.4 Процессы, протекающие при вжигании металлизации

Прочный слой металлизации на керамике служит промежуточной составляющей между керамикой и металлом. Прочность сцепления растет сближении показателей ТКР и усадки. При вжигании металлизации в керамике происходят процессы: спекания металлических зерен между собой и появление переходного слоя, поэтому в пасту вводят чистые металлы и

активные добавки, которые реагируют с компонентами керамики, не нарушая процесс спекания зерен друг с другом.

2 Методы исследования и материалы

2.1 Методы исследования

Существует несколько основных методов исследования состава и структуры твердых кристаллических материалов, а именно:

- Рентгенофазовый анализ;
- Растровая электронная микроскопия (РЭМ);
- Гидростатическое взвешивание;
- Проводимость;
- Адгезия.

Далее рассмотрим каждый из них подробнее.

2.1.1 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ является одним из самых прямых методов изучения состава и структуры твердых кристаллических материалов. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке анализируемого материала.

Главной функцией рентгенофазового анализа является определение разных кристаллических фаз в смеси на основе анализа дифракционной картины исследуемого вещества. Наиболее часто применяемым практическим методом РФА является метод порошка, получивший широкое распространение в силу своей простоты и универсальности.

Для регистрации дифракционной картины применяется современная аппаратура – рентгеновские дифрактометры, которые позволяют проводить анализ образцов быстро и с большой точностью.

Рентгенограмма анализируемого образца представляет собой график зависимости интенсивности отраженных образцом рентгеновских лучей от угла их отражения. На рентгенограмме наблюдается ряд четких пиков (рефлексов), если вещество кристаллическое, и размытые пики, если вещество аморфное.

Затрудненность в проведении РФА керамики состоит в разделении близко расположенных дифракционных максимумов для минералов со схожими параметрами кристаллической решетки, минералов, которые имеют общий структурный тип.

2.1.2 Растровая электронная микроскопия (РЭМ)

Растровая электронная микроскопия заключается в сканировании поверхности исследуемого образца сфокусированным электронным пучком и одновременном детектировании возникающих при этом излучений. Регистрируемые датчиками сигналы несут большое количество информации для описания природы и свойств изучаемого объекта.

РЭМ анализ поверхности исследуемого образца проводится с использованием вторичных электронов для визуализации морфологии поверхности и обратно рассеянных электронов, чтобы получить изображения поверхности с контрастом по электронной плотности, т.е. композиционном составе поверхности.

2.1.3 Гидростатическое взвешивание

Гидростатическое взвешивание – метод измерения массы на единицу объема тела исследуемого объекта. Это прямое применение закона Архимеда, которое повествует о том, что исследуемый объект, погруженный в жидкость, вытесняет объем жидкости, вес которой равен весу исследуемого объекта.

При известной массе образца определение кажущейся плотности приходит к измерению объема, включающий объем всех его пор. Для измерения существуют разные методы и приборы (волюмометры), принцип работы которых основа на гидростатическом взвешивании образцов, насыщенных жидкостью.

2.1.4 Проводимость

Электрические свойства веществ характеризуются величиной удельного электрического сопротивления или удельной электропроводности.

Удельное электрическое сопротивление от размеров образца не зависит, оно определяется его структурой всех уровней от атомно-кристаллической до макроструктуры и химическим составом.

Удельное сопротивление ρ определяется из соотношения

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3)$$

где R —сопротивление проводника,

l – его длина,

S – площадь поперечного сечения.

2.1.5 Адгезия

Важная характеристика покрытия — это адгезия, т.е. прочность сцепления покрытия с основой. В настоящий момент методы дают возможность получать покрытия с высокими характеристиками, но, если не обеспечить необходимый уровень сцепления покрытия с поверхностью детали, то покрытие не будет иметь места для практического применения.

Величина адгезии определяется из соотношения

$$\sigma_{\text{адг}} = \frac{F_{\text{отр}}}{S_{\text{пов}}}, \quad (4)$$

где $F_{отр}$ –усилие, приложенное к покрытию и приводящее к отслаиванию покрытия подложки,

$S_{пов}$ –площадь контакта между покрытием и подложкой.

В основе взаимодействия покрытий находятся факторы, которые определяют механизм образования прочной связи: молекулярное взаимодействие, механическое взаимодействие.

Механическая адгезия определяется зацеплением неровностей контактирующих поверхностей.

Молекулярная адгезия определяется величиной межатомного взаимодействия контактирующих на границе раздела покрытие.

5 Финансовый менеджмент

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью данной ВКР является разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Поскольку на сегодняшний день металлизационные пасты, рассчитанные на применение с нитридом алюминия, не до конца разработаны, и их массовое производство не налажено, прямых конкурентов для данной продукции нет в принципе. Однако разработка таких паст может повысить конкурентную

способность керамики на основе нитрида алюминия, поэтому конкурентами в данном случае можно считать производителей металлизационных паст для корундовой и других видов керамики.

В ходе исследования были рассмотрены три конкурирующие разработки о пастах на основе тугоплавких порошков:

- Технология металлизации алюмонитридной керамики пастами на основе тугоплавких металлов (индекс «ф»);
- Компания «Глобал Инжиниринг», г. Москва – металлизационные пасты (индекс «к1»);
- Компания «Монокристалл», г. Ставрополь – металлизационные пасты (индекс «к2»)

В таблице 24 описана оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 24 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Труд пользователя	0,5	4	4	4	2	2	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,02
3. Доступность сырьевых материалов	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
4. Адгезионные свойства	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
5. Проводимость	0,04	5	4	3	0,16	0,16	0,12

Продолжение таблицы 24

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	4	4	0,21	0,28	0,28
3. Цена	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
4. Финансирование научной разработки	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
5. Срок выхода на рынок	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
6. Наличие сертификации разработки	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2
Итого	1	92	87	86	4,26	4,09	4,15

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i = (0,5 * 4) + (0,05 * 4) + (0,01 * 4) + (0,09 * 5) + (0,04 * 5) + (0,03 * 5) + (0,07 * 3) + (0,05 * 5) + (0,07 * 5) + (0,05 * 5) + (0,04 * 5) = 4,26,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

5.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Недостаток научной базы в области исследования.
С2. Экологичность технологии.	Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
С3. Наличие бюджетного финансирования.	Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования.
С4. Квалифицированный персонал.	
С5. Новизна проекта на рынке.	
Возможности	Угрозы
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	У1. Возможность появления прямых конкурентов
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	У2. Высокие требования к техническим характеристикам продукции
В3. Отсутствие прямых конкурентов	У3. Сложность получения керамики на основе нитрида алюминия

На втором этапе, на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 26–29.

Таблица 26 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	+	+	+
	B2	+	+	-	-	-
	B3	-	-	-	-	+

Таблица 27 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	+	+
	B2	-	-	-
	B3	+	-	-

Таблица 28 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	+
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	-	+

Таблица 29 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	+
	У2	+	+	-
	У3	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 30.

Таблица 30 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Наличие бюджетного финансирования. С4. Квалифицированный персонал. С5. Новизна проекта на рынке.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Недостаток научной базы в области исследования Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Отсутствие прямых конкурентов</p>	<p>Направления развития В1С3С4С5. Наличие бюджетного финансирования, квалифицированный персонал, а также новизна проекта на рынке соответствует потенциальному спросу на новые разработки. В2С1С2. Заявленная экономичность, энергоэффективность и экологичность технологии является хорошим основанием для внедрения в аэрокосмическую область. В3С5. Новизна проекта на рынке являются основой для выхода на новые рынки сбыта и привлечения инвесторов.</p>	<p>Сдерживающие факторы В1Сл2Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца, а также большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования может решиться использованием инновационной инфраструктуры ТПУ В3Сл1. Недостаток научной базы в области исследования при приводит к отсутствию прямых конкурентов на рынках сбыта</p>

Продолжение таблицы 30

<p>Угрозы У1. Возможность появления прямых конкурентов У2. Высокие требования к техническим характеристикам продукции У3. Сложность получения керамики на основе нитрида алюминия</p>	<p>Угрозы развития У1С1С2С5. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши технологии имеют большую экономичность, энергоэффективность, экологичность технологии и выделяются новизной проекта на рынке. У2С1С4. Несмотря на высокие требования к техническим характеристикам продукции, хорошего качества продукции получается добиваться благодаря эффективности технологии и квалифицированному персоналу. У3С5. Сложность получения керамики на основе нитрида алюминия окупается новизной проекта и своей перспективностью в будущем.</p>	<p>Уязвимости: У1Сл2Сл3. Нарастить объемы производства, занять новые ниши сбыта, наработать конкурентные преимущества. У2Сл1Сл2. Расширить каналы закупки материалов и комплектующих</p>
---	--	---

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования ИШНПТ ТПУ и дальнейшее совершенствование технологии.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 31.

Таблица 31 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер

Продолжение таблицы 31

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка материалов	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5}, \quad (5)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (6)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (7):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (7)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (8)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 32.

Таблица 32 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8		2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	2	2	4	3	2,2	2,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	7	-	9	-	7,8	7,8	12
4. Выбор методов исследования	1	4	2	6	1,4	4,8	3,1	5
5. Планирование эксперимента	-	4	-	6	-	4,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	14	-	21	-	16,8	16,8	25
8. Обработка полученных данных	-	8	-	10	-	8,8	8,8	13

Продолжение таблицы 32

9. Оценка правильности полученных результатов	4	2	6	4	4,8	2,8	3,8	6
10. Составление пояснительной записки		7		9	-	7,8	7,8	12
Итого:	9	53	16	75	11,8	61,8	64,1	95

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 33).

Таблица 33 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█	█												
3	Обзор научной литературы	Исп2	12		█	█											
4	Выбор методов исследования	Исп2	5			█											
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			█	█										
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				█										
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					█	█	█							
8	Обработка полученных данных	Исп2	13								█	█	█				
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	6										█	█			
10	Составление пояснительной записки	Исп2	12												█	█	█

Примечание:

█ Исп. 1 (научный руководитель), █ – Исп. 2 (инженер)

5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при разработке паст для металлизации алюмонитридной керамики на основе тугоплавких порошков. Результаты расчета затрат представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Затраты на разработку технологии металлизации ALN керамики

Наименование статей	Единица измерения	Кол-во, гр	Цена за единицу, руб/кг	Сумма, руб.
Нитрид алюминия	кг	58	7000	406
Изопропиловый спирт	кг	15700	96	1507,2
Карбонат натрия десятиводный	кг	883	65	57,4
Карбонат кальция	кг	92	55	5
Изопропиловый спирт	кг	2	150	300
Олеиновая кислота	кг	0,010	87	0,87
Карбонат кальция	кг	92	55	5
Свинцовый сурик	кг	159	250	39,8

Продолжение таблицы 33

Оксид иттрия	кг	1,9	35000	66,5
Электротовары для сборки установки	-	-	-	1141,9
Итого:				3529,67

5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (9)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (10)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 34 – Затраты на оборудование

№ п/ п	Наименование оборудования	Кол- во ед.	Срок полез- ного исполь- зовани я, лет	Время использо- вания, мес.	Н _А , %	Цена оборудова- ния, руб.	Аморти- зация
1	Весы аналитические Веста В153	1	7	0,16	14	15000	29
2	Пресс гидравлический	1	7	0,1	14	15000	18
3	Щековая дробилка ЩД-10	1	5	0,16	20	250000	667
4	Виброплощадка	1	5	0,1	20	22500	38
5	РФА-установка ДРОН-3М	1	10	0,16	10	180000	240
6	ДТА- установка СТА 449 F3 Jupiter	1	10	0,1	10	3000000	2500
7	Печь камерная	1	7	0,16	14	70000	133
Итого:							3625

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (11)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.
(таблица 32).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (12)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (13)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_0) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (14)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_0) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (15)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 35 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 36 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнитель и НИ	$Z_{mc},$ руб	k_{np}	k_d	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{дн},$ руб	$T_p,$ раб.дн.	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	11,8	25338,1
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	61,8	107723,6
Итого:								133062

5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{дон} = k_{дон} * Z_{осн} = 0,15 * 25338,1 = 3800,7 \text{ руб.} \quad (16)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0,15 * 107723 = 16158,5 \text{ руб.}, \quad (17)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 * (25338,1 + 3800,7) = 8741,1 \text{ руб.} \quad (18)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 * (107723,6 + 16158,5) = 37164,6 \text{ руб.}, \quad (19)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле (20):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{пр}, \quad (20)$$

где k_{np} – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

$$Z_{накл} = 32973,12 \text{ руб.}$$

5.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 37 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
3625	3529,7	133062	19959,3	45906,3	206082	32973,12	239055,1

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Разработка состава металлизационной пасты для нитрида алюминия на основе тугоплавких порошков» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 38 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	3529,7	4626,3	15945	Пункт 5.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	3625	3959,8	4345,3	Пункт 5.3.2

Продолжение таблицы 38

3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	133032	148391	148391	Пункт 5.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19959,3	19959,3	19959,3	Пункт 5.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	45906,3	51194,9	51194,9	Пункт 5.3.5
6	Накладные расходы	32973,12	36868,8	38741,5	Пункт 5.3.6
Бюджет затрат НИР		239055,1	267297,8	280875,5	Сумма ст. 1- 6

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

5.4.1 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Использование алюмооксидной керамики;
- 2) Металлизационной пасты на медной основе, структура и свойства.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (21)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 239055,1 \text{ руб.}, \Phi_{\text{исп.1}} = 267297,8 \text{ руб.}, \Phi_{\text{исп.2}} = 280875,5 \text{ руб.} \quad (22)$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тех.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тех.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{239055,1}{280875,5} = 0,85;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{\text{исп2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{267297,8}{280875,5} = 0,95;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{\text{исп3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{280875,5}{280875,5} = 1.$$

5.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 39).

Таблица 39 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4	4	3
2. Сложность технологии	0,10	3	3	3
3. Диэлектрические свойства	0,25	5	4	5
4. Термофизические свойства	0,15	4	3	3
5. Энергосбережение	0,25	5	5	4
6. Материалоемкость	0,15	5	2	3
ИТОГО	1	4,55	3,7	3,75

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0.1 * 4 + 0.1 * 3 + 0.25 * 5 + 0.15 * 4 + 0.25 * 5 + 0.15 * 5 = 4,55;$$

$$I_{p2} = 0.1 * 4 + 0.1 * 3 + 0.25 * 4 + 0.15 * 3 + 0.25 * 5 + 0.15 * 2 = 3,7;$$

$$I_{p3} = 0.1 * 3 + 0.1 * 3 + 0.25 * 5 + 0.15 * 3 + 0.25 * 4 + 0.15 * 5 = 3,75.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} . \quad (23)$$

$$I_{исп.1} = 5,2; I_{исп.2} = 3,8; I_{исп.3} = 3,75.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 40).

Таблица 40 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,7	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	5,2	3,8	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,73	0,72

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово эффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

5.5 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 95 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 61,8 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 11,8 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 239055,1 руб.;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,86, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,55, по сравнению с 3,7 и 3,75;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,2, по сравнению с 3,8 и 3,75, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.